补喂肌酸对速步马运动性能、糖代谢及抗氧化能力的影响

李晓斌　马　军　聂彪彪　杨景泰　乔春江　杨开伦*

（新疆农业大学，新疆肉乳用草食动物营养重点实验室，乌鲁木齐 830052）

摘　要：本试验旨在通过研究补喂肌酸对速步马运动性能、糖代谢及抗氧化能力的影响，为肌酸在速步马训练、比赛中的应用提供参考数据。试验选取年龄 4 岁、平均体重为（457±50）kg、1 km 速步比赛成绩相近且经过良好训练的伊犁马公马 8 匹，随机分为 2 组，分别为对照组、试验组，每组 4 匹，每天每匹马分别饲喂 3 kg 颗粒精料，干牧草自由采食，在此基础上试验组每天每匹马补喂 38 g 肌酸，进行为期 38 d（预试期 7 d，正试期 31 d）的补饲试验及训练试验。结果表明：补喂肌酸可提高速步马 1 km 速步赛的比赛用时，试验组比赛用时比对照组缩短 12.74%（$P>0.05$）；在血浆抗氧化指标方面，补喂肌酸可显著提高赛后 30 min 血浆中过氧化氢酶活力、总抗氧化能力及赛后 24 h 血浆中超氧化物歧化酶活力（$P<0.05$）；但对照组与试验组赛前、赛后心率及血浆中葡萄糖、乳酸、肌酸、肌酐、胰岛素、胰高血糖素及皮质醇含量差异不显著（$P>0.05$）。由此得出，补喂肌酸能够提高速步马的运动成绩，增强速步马赛后抗氧化能力。

关键词：肌酸；速步马；运动性能；糖代谢；抗氧化能力

中图分类号：S816　　　　文献标识码：A　　　　文章编号：

肌酸（creatine）隶属于氨基酸或氨基酸的衍生物，其不仅是动物的营养物质，可以作为机体的能源物质，进入机体后参与肌肉细胞的合成代谢，为肌肉收缩储备能量[1]；同时还参与机体的代谢，抑制机体氧化应激并调节激素水平[2]；并可帮助动物在运动后机体的恢复

收稿日期：2015-11-16

基金项目：新疆维吾尔自治区重大科技专项（201130101）

作者简介：李晓斌（1988-），男，新疆乌鲁木齐人，博士研究生，研究方向为动物营养代谢。E-mail：172387243@qq.com

*通信作者：杨开伦，教授，博士生导师，E-mail： yangkailun2002@aliyun.com

[3]。目前，肌酸作为运动营养添加剂调节机体运动性能、降低机体氧化应激等在人[4]、大鼠[5]、小鼠[6]中研究较多。Williams等[7]给小鼠补充肌酸后，奔跑能力增强。Araújo等[8]给进行训练的大鼠每天补喂1.5 g/kg BW的肌酸能够提高大鼠血浆中过氧化氢酶活力。Sewell等[9]以平均体重为505 kg的纯血马为研究对象，通过饮水的方式给马匹每天饲喂0.05 g/ kg BW 肌酸，结果表明补喂肌酸可提高纯血马血浆中肌酸含量，但对肌肉中肌酸含量无显著影响。伊犁马是我国珍惜的马种资源，主要分布于新疆伊犁地区，具有良好的运动性能，经测定，伊犁马速力测试成绩1 km用时1 min 11.66 s，但伊犁马目前存在速步性能差、速步训练中易疲乏、恢复慢等问题，严重制约了伊犁马良好运动性能的发挥。因此，本试验基于肌酸对动物机体供能、抗氧化及有益于运动后机体恢复的研究报道，以伊犁马速步赛用马为试验动物，通过饲喂试验探究肌酸对速步马运动性能、糖代谢及抗氧化能力的影响，为速步马高水平运动性能的发挥提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物选择与试验设计

本试验选取年龄为 4 岁、平均体重为（457±50） kg 经过严格训练的伊犁马公马 8 匹(速步赛用马)，随机分为 2 组，分别为对照组和试验组，每组 4 匹，每天每匹马分别饲喂 3 kg 颗粒精料，干牧草自由采食，在此基础上参考 Sewell 等[9]补喂肌酸对纯血马血浆、肌肉中肌酸含量影响的试验结果，试验组每天每匹马饲喂 38 g 肌酸（购自中山市佳汇食品添加剂有限公司），进行为期 38 d（预试期 7d，正试期 31 d）的补饲试验及训练试验。

1.2 饲养管理及饲粮组成

试验马匹单厩饲养，采用先粗后精的饲喂方法，将 3 kg 颗粒精料平均分为 3 份，分别于每天 07:00，15:00 和 23:00 进行饲喂，肌酸平均分为 2 份，分别于每天 07:00 和 23:00 进行补喂。自由采食粗饲料，自由饮水。待精料采食完后，将马匹牵入活动场，让其自由活动，4 h 后安排训练。马厩每天按时打扫，清除粪便和垫料，并换干燥柔软的垫料。

本试验使用的颗粒精料组成及营养水平见表 1。

表 1　颗粒精料组成及营养水平(干物质基础)

Table 1　Composition and nutrition levels of the pelleted concentrate (DM basis）　%

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels	含量 Content
玉米 Corn	44.00	干物质 DM	93.71
燕麦 Wheat bran	15.00	有机物 OM	90.03
大麦 Barley	15.00	粗蛋白质 CP	12.09
大豆粕 Soybean meal	20.00	中性洗涤纤维 NDF	35.89
鱼粉 Fish meal	1.00	酸性洗涤纤维 ADF	20.56
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	3.00	钙 Ca	0.88
食盐 NaCl	1.00	磷 P	0.39
预混料 Premix1)	1.00	消化能 DE/(MJ/kg)2)	24.34
合计 Total	100.00		

1)预混料为每千克精料提供 The premix provided the following per kg of the concentrate：VA 480 IU，VB_1 816.32 mg，VB_2 333.2 mg，VB_6 48.96 mg，VD 70.4 IU，VE 21 333.36 IU，泛酸 pantothenic acid 20.46 mg，烟酰胺 nicotinamide 484.85 mg，Cu (as copper sulfate) 10.58 mg，Fe (as ferrous sulfate) 35.56 mg，Mn (as manganese sulfate) 33.54 mg，Zn (as zinc sulfate) 30.92 mg，I (as potassium iodide) 2.46 mg，Se (as sodium selenite) 5.93 mg，Co (as cobalt chloride) 1.11 mg。

2)除消化能为计算值，其余均为实测值。DE was a calculated value, while the others were measured values.

1.3 训练场地

试验马匹在昭苏马场西域赛马场进行训练。训练场地为西域赛马场赛道。赛道由椭圆形沙道和草道组成。沙道由细沙构成，深度 40 cm，底部为土基，道宽 21 m，周长为 1 000 m；

草道由天然的牧草形成，宽 21 m，周长为 1 100 m。

1.4 训练方案

试验马匹每天训练时间为 11:30—13:00，11:30 将试验马匹备鞍后，由骑手牵至训练场首先在草道上慢走 1 圈，随后进入沙道，逐渐加快速度慢跑 1 圈，使马匹充分活动，随后进入正式训练，训练方案见表 2。

表 2　训练方案

Table 2　Train program

训练时间 Training time	训练前热身准备 Warming up before training	训练强度 Training intensity	训练距离 Distance of training/m	重复次数 Repetitions
预试期1～7 d 1 to 7 d of adaptation		全速的 80%[1)]	1 000	2
正试期1～7 d 1 to 7 d of collection	试验马匹备鞍后，由骑手牵至训练场首先在草道上慢走一圈，随后进入沙道，逐渐加快速度慢跑一圈，使马匹充分活动，随后进入正式训练。	全速的 80%	1 000	2
正试期7～14 d 7 to 14 d of collection		全速的 80%	1 000	3
正试期15～21 d 15 to 21 d of collection		全速的 80%～90%[2)]	1 000	3
正试期22～31 d 22 to 31 d of collection		全速的 80%～90%	1 000	4

1) 全速的 80%是指骑手控制试验马匹进行 1 000 m 速步赛时的用时为 200 s。80% of full speed meant tortters controlled by riders conducted 1 km trot race when the time is 200 s.

2) 全速的 80%～90%是指骑手控制试验马匹进行 1 000 m 速步赛时的用时为 175 s。80% to

90% of full speed meant tortters controlled by riders conducted 1 km trot race when the time is 175 s.

1.5 数据获得及样品采集

1.5.1 速步赛成绩的获得

分别在正试期第 0 天（正式试验开始前）、第 31 天进行速步赛并使用秒表测定 1 km 速步赛成绩。

1.5.2 速步赛心率数据的获得

在正试期第 31 天进行速步赛，分别于赛前 1 h、赛后即刻、赛后 30 min 使用 Polar 脉搏仪（购自上海益联科教设备有限公司），在速步马胸部测定速步马的心率。

1.5.3 血浆的采集

在正试期第 31 天进行速步赛，分别于赛前 1 h、赛后 30 min、赛后 24 h 在速步马颈颈静脉处采集血样 5 mL 至肝素钠采血管中，1 500×*g* 离心 15 min，制取血浆并于-20 ℃冷冻保存备用。

1.6 测定指标及方法

血浆中过氧化氢酶（CAT）、谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）、超氧化物歧化酶（SOD）活力，总抗氧化能力（T-AOC）以及丙二醛（MDA）、葡萄糖（Glu）、胰岛素（INS）、胰高血糖素（Gc）、乳酸（LA）、皮质醇（COR）、肌酐（creatinine）含量使用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定；血浆中肌酸含量使用美国 Sigma 公司生产的试剂盒测定。

1.7 数据处理

试验数据采用 SPSS 16.0 软件进行独立样本 *t* 检验，试验结果均以平均值±标准差（mean±SD）表示。

2 结果与分析

2.1 补喂肌酸对速步马 1 km 速步赛成绩的影响

补喂肌酸对速步马速步赛成绩的影响见表 3。在试验前，试验组与对照组 1 km 速步赛成绩差异不显著（$P>0.05$）。在试验第 31 天进行速步赛，试验组 1 km 速步赛用时低于对照组，降低 12.74%（$P>0.05$）。从整个试验期来看，试验组 1 km 速步赛用时明显缩短，比对照组缩短 107.38%（$P>0.05$）。

表 3　补喂肌酸对速步马 1 km 速步赛成绩的影响

Table 3　Effects of supplemental feeding creatine on result of 1 km trot race in trotters (n=4)　s

项目 Items	第 0 天比赛用时 Test time at 0th d of the race	第 31 天比赛用时 Test time at 31st d of the race	第 0 天到第 31 天减少用时 Time shorten of the 0th to 31st d
对照组 Control group	134.37±9.81	116.47±14.71	17.89±5.91
试验组 Trail group	138.73±33.12	101.63±11.00	37.10±14.09

同列数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著($P>0.05$)，不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

In the same column, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P>$ 0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

2.2　补喂肌酸对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后心率的影响

补喂肌酸对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后心率的影响见表 4。从心率数据来看，在比赛开始前，各组马匹处于稳定的生理状态，心率差异不显著（$P>0.05$）。在赛后即刻，各组马匹心率均上升，组间差异不显著（$P>0.05$）。赛后 30 min，各组马匹心率恢复到正常水平，各组间差异不显著（$P>0.05$）。

表 4　补喂肌酸对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后心率的影响

Table 4　Effects of supplemental feeding creatine on heart rate before and after 1 km trot race in trotters (n=4)　bpm

项目	赛前 1 h	赛后即刻	赛后 30 min

Items	1 h before the race	The end of the race	30 min after the race
对照组 Control group	55.50±8.23	103.00±14.77	46.50±1.73
试验组 Trail group	53.50±7.94	98.75±9.91	45.50±1.92

2.3　补喂肌酸对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后血浆中糖代谢指标的影响

补喂肌酸对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后血浆中糖代谢指标的影响见表 5。对照组与试验组血浆中葡萄糖含量在赛前 1 h 没有显著差异（*P*＞0.05），赛后 30 min 试验组相对于对照组升高 33.40%（*P*＞0.05），赛后 24 h 试验组与对照组差异不显著（*P*＞0.05）。赛前 1 h，血浆中胰岛素含量各组之间没有显著差异（*P*＞0.05）；赛后 30 min、赛后 24 h 各组血浆中胰岛素含量均升高，试验组比对照组分别高出 6.92%（*P*＞0.05）、23.37%（*P*＞0.05）。血浆中胰高血糖素含量在赛前 1 h 各组之间没有显著差异（*P*＞0.05），在赛后 30 min、赛后 24 h 试验组均比对照组高，分别高出 5.85%（*P*＞0.05）、6.89%（*P*＞0.05）。在赛前 1 h 各组血浆乳酸含量处于稳定生理状态（*P*＞0.05），赛后 30 min 试验组与对照组乳酸含量均升高，但是组间差异不显著（*P*＞0.05），赛后 24 h 试验组与对照组乳酸含量开始降低，但组间仍差异不显著（*P*＞0.05）。赛前 1 h 血浆中皮质醇含量试验组与对照组差异不显著（*P*＞0.05），赛后 30 min、赛后 24 h 血浆中皮质醇含量均降低，但试验组与对照组之间差异不显著（*P*＞0.05）。

表 5　补喂肌酸对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后血浆中糖代谢指标的影响

Table 5　Effects of supplemental feeding creatine on plasma Glu metabolism indices before and after 1 km trot race in trotters (*n*=4)

项目 Items	赛前 1 h 1 h before the race	赛后 30 min 30 min after the race	赛后 24 h 24 h after the race
葡萄糖 Glu/(mmol/L)			
对照组 Control group	5.58±0.46	5.24±0.50	5.56±0.32

试验组 Trail group	5.35±0.54	6.99±1.79	6.55±2.25
胰岛素 INS/(mIU/L)			
对照组 Control group	9.96±1.07	12.43±1.75	14.72±1.89
试验组 Trail group	10.67±2.93	13.29±1.42	18.16±2.09
胰高血糖素 Gc/(pg/mL)			
对照组 Control group	272.67±31.52	287.92±43.45	318.40±52.84
试验组 Trail group	285.71±33.29	304.77±55.32	340.35±18.57
乳酸 LA/(mmol/L)			
对照组 Control group	0.77±0.02	1.38±0.24	1.15±0.10
试验组 Trail group	0.73±0.16	1.66±0.40	1.11±0.00
皮质醇 COR/(ng/mL)			
对照组 Control group	144.93±22.18	125.69±7.92	102.58±11.63
试验组 Trail group	128.44±15.29	117.57±8.32	112.46±15.95

2.4 补喂肌酸对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后血浆中肌酸、肌酐含量的影响

补喂肌酸对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后血浆中肌酸、肌酐含量的影响见表 6。血浆中肌酸含量在赛前 1 h 试验组与对照组差异不显著（$P>0.05$），赛后 30 min 与赛前 1 h 相比有微弱的增加，但试验组与对照组差异不显著（$P>0.05$），赛后 24 h 试验组有所降低，但是与对照组仍差异不显著（$P>0.05$）；赛前 1 h 试验组与对照组血浆中肌酐含量相对稳定（$P>0.05$），赛后 30 min 试验组与对照组肌酐含量均升高，但试验组升高较明显，比对照组高出 24.35%（$P<0.05$）；赛后 24 h 各组开始恢复到正常生理水平（$P>0.05$）。

表 6　补喂肌酸对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后血浆中肌酸、肌酐含量的影响

Table 6　Effects of supplemental feeding creatine on plasma creatine and creatinine contents before and after 1 km trot race in trotters (n=4)

项目 Items	赛前 1 h 1 h before the race	赛后 30 min 30 min after the race	赛后 24 h 24 h after the race

肌酸 Creatine/(nmol/mL)			
对照组 Control group	24.14±5.56	24.25±2.64	26.19±10.20
试验组 Trail group	28.61±3.40	28.70±5.77	16.22±6.29
肌酐 Creatinine/(μmol/L)			
对照组 Control group	9.87±1.32	10.88±1.32[b]	10.84±0.65
试验组 Trail group	9.55±1.21	13.53±0.92[a]	10.70±0.49

2.5 补喂肌酸对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后血浆中抗氧化指标的影响

补喂肌酸对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后血浆中抗氧化指标的影响见表 7。在血浆中过氧化氢酶活力方面，赛前 1 h 试验组与对照组差异不显著（P>0.05）；赛后 30 min 各组均升高，组间差异不显著（P>0.05）；赛后 24 h 均恢复到正常水平，组间亦差异不显著（P>0.05）。赛前 1 h 各组血浆中谷胱甘肽过氧化物酶活力没有显著差异（P>0.05）；赛后 30 min 各组均有所降低，组间差异不显著（P>0.05）；赛后 24 h，各组均有所升高，试验组比对照组高出 12.87%（P>0.05）。血浆中超氧化物歧化酶活力在赛前 1 h 试验组与对照组差异不显著（P>0.05）；赛后 30 min 试验组高于对照组，但组间差异不显著（P>0.05）；而赛后 24 h 试验组比对照组高出 15.05%，且差异显著（P<0.05）。在血浆中总抗氧化能力方面，赛前 1 h 试验组与对照组差异不显著（P>0.05）；赛后 30 min 试验组显著高于对照组（P<0.05）；赛后 24 h 试验组与对照组差异不显著（P>0.05）。赛前 1 h 试验组血浆丙二醛含量高于对照组（P>0.05）；赛后 30 min 试验组降低，对照组则升高，但试验组与对照组相比差异不显著（P>0.05）；赛后 24 h 对照组与试验组均有所增加，但组间差异不显著（P>0.05）。

表 7 补喂肌酸对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后血浆中抗氧化指标的影响

Table 7 Effects of supplemental feeding creatine on plasma antioxidant indices before and after 1 km trot race in trotters (n=4)

项目 Items	赛前 1 h 1 h before the race	赛后 30 min 30 min after the race	赛后 24 h 24 h after the race

过氧化氢酶 CAT/(U/mL)			
对照组 Control group	9.87±1.32	10.88±1.32[b]	10.84±0.65
试验组 Trail group	9.85±1.28	13.54±0.92[a]	10.98±0.00
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)			
对照组 Control group	239.56±32.08	193.01±24.34	228.53±49.51
试验组 Trail group	243.97±39.29	173.53±7.35	257.94±35.67
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)			
对照组 Control group	36.81±1.78	39.64±5.09	34.48±1.49[b]
试验组 Trail group	39.05±2.44	41.58±3.01	39.67±3.39[a]
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)			
对照组 Control group	2.57±0.53	3.60±0.52[b]	3.23±0.69
试验组 Trail group	3.23±0.15	4.90±0.35[a]	3.37±0.30
丙二醛 MDA/(nmol/mL)			
对照组 Control group	2.37±0.53	2.63±0.43	3.96±0.80
试验组 Trail group	3.38±0.52	2.98±0.68	3.75±0.31

3 讨 论

3.1 补喂肌酸对速步马运动性能的影响

一些氨基酸不仅是动物的营养物质，还可提高动物运动的持久性和延迟疲劳[10]，其中肌酸是氨基酸的衍生物，可作为一种能源物质为机体供能[11]，具有减少无氧代谢、降低氧化应激等作用[12]。目前已有关于肌酸提高人或动物运动性能的报道。Eckerson等[2]分别给志愿者每天补充5 g肌酸、18 g葡萄糖，连续补充5d 后发现肌酸可提高志愿者的无氧运动能力。Izquierdo等[13]将19名受试者分为2组，分别为补充肌酸和安慰剂，连续补充肌酸5 d（20 g/d）后发现肌酸可显著提高受试者的短跑能力。Murphy等[14]研究发现，给游泳运动员补充肌酸可提高400 m游泳中最后50 m的运动成绩。而Cooke等[15]给未经正规训练的健康男子分别补充肌酸和安慰剂，5 d后测定其运动时的能量产生峰及疲劳指数，结果表明补充肌酸对提高

运动性能无显著影响。

本试验中，试验组速步马 1 km 速步赛用时低于对照组，从试验前到第 31 天减少用时来看，试验组高于对照组，由此说明补喂肌酸能够提高速步马的比赛速度，其原因可能是肌酸能够在肌肉组织中形成磷酸肌酸[16]，而磷酸肌酸能够在 ATP 供能不足的情况下迅速转化 ATP 为机体运动提供充足的能量，从而提高肌肉的收缩能量，最终提高速步马的运动性能，减少 1 km 速步赛用时。就速步马心率而言，各组在赛前 1 h 时的心率均低于 64 bpm，赛后即刻心率增加，赛后 30 min 随之下降，但试验组均低于对照组，由此说明补喂肌酸可为速步马提供能量物质，防止各组织器官功能的降低，有益于运动后生理机能的快速恢复。

3.2 补喂肌酸对速步马赛前、赛后糖代谢的影响

动物体内激素含量受多种因素影响，如运动会导致胰岛素、胰高血糖素和皮质醇含量发生改变。运动对激素分泌的总效应是使激素在运动时对运动的反应降低，有效地进行糖异生，使糖动用快速、节省。运动时肝糖元分解加强，肝糖元异生作用也随之加强。肾上腺素、胰高血糖素、皮质醇、胰岛素是加强糖异生作用的主要激素。运动时葡萄糖的利用增强是通过降低血浆中胰岛素含量，提高血浆中肾上腺素、皮质醇和胰高血糖素含量而达到平衡的。运动中血浆中胰高血糖素含量升高与肝糖元水解加强有关，且对长时间运动起重要作用。运动后血浆葡萄糖和皮质醇含量之间也存在一定关系，皮质醇含量升高有利于葡萄糖含量的恢复。

在本试验中，赛后 30 min 试验组血浆中葡萄糖的含量没有降低反而升高，出现这种结果的原因可能与骨骼肌中磷酸肌酸转化成 ATP 有关。在剧烈运动时，ATP 含量迅速下降，此时肌肉中的磷酸肌酸以最快的速度在肌酸激酶催化下几乎完全转化为 ATP。因此，延迟了糖酵解供能。运动会刺激机体糖原的分解，使血浆葡萄糖含量升高。由于磷酸肌酸转化 ATP 效率高于糖酵解，从而导致速步马赛后血浆中葡萄糖含量有小幅度升高。

本试验中，各组赛后 30 min、赛后 24 h 时血浆中胰岛素、胰高血糖素含量均有所升高，

这是由于胰岛素、胰高血糖素是加强糖异生作用的主要激素[17]，运动强度的增强导致速步马体内糖异生作用也随之增强，使速步马血浆中胰岛素、胰高血糖素含量增加。此外，试验组赛后 30 min、赛后 24 h 血浆中胰岛素、胰高血糖素含量均高于对照组，与 Davics 等[18]研究结果一致，可能是由于补喂肌酸提高了速步马血液中氨基酸含量，较多的氨基酸经过糖异生转化为葡萄糖，从而影响了血浆中胰岛素、胰高血糖素的含量。

就速步马血浆中皮质醇含量变化而言，赛后 24 h 时各组皮质醇含量低于赛后 30 min 时的含量，这是由于血浆中皮质醇含量受运动强度的影响，且强度运动后皮质醇含量会持续降低，直到肾上腺皮质分泌大量的皮质醇后才得以恢复。而补喂肌酸可提高速步马赛后 24 h 血浆中皮质醇含量，可能是由于肌酸进入速步马体内后可直接磷酸化供能，从而延迟了糖供能，使试验组赛后 24 h 血浆中皮质醇含量升高，因此补喂肌酸有助于速步马赛后血浆中葡萄糖含量的恢复，这也与试验组赛后 24 h 血浆中葡萄糖含量高于对照组的结果相一致。

在剧烈运动时，速步马体内会进行无氧代谢，产生大量乳酸，使呈弱碱性的体液变为酸性，影响细胞顺利吸收营养和氧气，削弱细胞的正常功能，严重影响速步马的运动性能[19]。研究发现，在大强度间歇性训练中，每天对运动员补充适量的肌酸可提高运动能力并使血浆中乳酸含量显著降低；而在最大负荷运动训练时，在补充肌酸的条件下进行超强度的训练，血浆中乳酸含量仍相对较低，表明补充肌酸对肌肉无氧耐力同样具有重要影响[20]。而金宏[12]通过给大鼠补喂肌酸研究运动后乳酸含量的变化，结果发现大鼠游泳运动后血清、心肌和骨骼肌中乳酸含量均有所升高。在本试验中，对照组及试验组赛后 30 min 血浆中乳酸含量升高，这是由于速步赛是短程竞技运动，速度过快、负荷强度高，主要依靠无氧代谢功能，而在无氧代谢过程中会产生大量丙酮酸、乳酸等中间代谢产物[21]，不能通过呼吸排出，从而导致赛后 30 min 速步马血浆中乳酸含量增加，但试验组马匹赛后 30 min 血浆中乳酸含量高于对照组，可能原因是在高速的运动过程中马的能量主要来源于无氧代谢，由于试验组 1 km 速步赛用时小于对照组，即试验组运动强度高于对照组，故导致试验组马匹血浆中乳酸含量

高于对照组。但在赛后 24 h，试验组血浆中乳酸含量低于对照组，表明补喂肌酸对于速步马运动后恢复期乳酸的清除有显著作用。

3.3 补喂肌酸对速步马赛前、赛后血浆中肌酸、肌酐含量的影响

肌酸对无氧运动能力有显著提高作用，主要与机体中 95%的肌酸贮存于骨骼肌有关。正常机体内骨骼肌中肌酸的含量范围在 60～160 mmol/kg 干肌重量[9]。进入肌肉的肌酸有 2/3 以磷酸肌酸形式存在，1/3 为游离的肌酸，这种高度集中的肌酸成为运动供能的基础。Sewell 等[9]报道，在静息状态下纯血马血浆中肌酸含量为 8～103 μmol/L，其含量大小与马品种及饲养水平有关。

本试验中，血浆中肌酸的含量在 16～28 nmol/mL 之间，与 Sewell 等[9]的研究结果相近，试验组赛前 1 h 及赛后 30 min 血浆中肌酸含量略高于对照组，表明补喂肌酸可提高速步马血浆中肌酸含量。而在赛后 24 h 试验组血浆中肌酸含量降低，这可能是由于肌酸在肌肉中 60%以磷酸的结合形式存在，磷酸肌酸是骨骼肌能量代谢的能量贮存库[16]，当 ATP 含量降低时，磷酸肌酸可迅速脱去 1 个磷酸根与 ADP 结合转变为 ATP，并释放出肌酸。因此，本试验中各组赛后 30 min 血浆中肌酸含量与赛前 1 h 没有明显差异，说明磷酸肌酸参与运动功能，并释放出肌酸，维持血液中肌酸含量的平衡，而赛后 24 h 血浆中肌酸含量降低，可能是血液中游离的肌酸被转移到肌肉，参与磷酸肌酸的合成，使骨骼肌中参与运动消耗的磷酸肌酸达到稳定水平。

肌酐是肌酸和磷酸肌酸的代谢产物，运动后血浆中肌酐含量升高与运动中肌酸与磷酸肌酸参与运动的量有关。本试验中，对照组速步马赛后30 min血浆中肌酐含量高于对照组，这可能与肌酸和磷酸肌酸在机体内同时参与供能，产生了较多的肌酐有关。

3.4 补喂肌酸对速步马赛前、赛后抗氧化能力的影响

运动过程中的氧化应激会导致人或动物运动性能下降，因此消除氧化应激、保护抗氧化系统是提高运动性能的关键。机体的抗氧化系统主要由酶系统和非酶系统抗氧化剂组成，酶

系统抗氧化剂包括超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶、过氧化氢酶、过氧化物酶等；非酶系统抗氧化剂主要是指外源性抗氧化剂，包括维生素、氨基酸、微量元素等物质[22]，主要通过消除机体内自由基、提高内源性抗氧化酶的活力来对机体进行保护。肌酸是氨基酸的衍生物，可作为外源性抗氧化剂提高动物机体内抗氧化酶的活力[23]。Araújo 等[8]给进行训练的大鼠每天补喂 1.5 g/kg BW 肌酸后发现能够提高大鼠血浆中过氧化氢酶的活力。柯湘[24]将 36 只雄性 SD 大鼠随机分为安静对照组、运动训练组、运动训练+肌酸组，每组 12 只，采用递增负荷游泳训练，腹主动脉采血并制备血清，结果显示，运动训练+肌酸组 SD 大鼠血浆中超氧化物歧化酶活力显著高于运动训练组。

在本试验中，试验组速步马赛后 30 min 血浆中丙二醛含量高于对照组，但赛后 24 h 低于对照组；试验组赛后 30 min 血浆中过氧化氢酶、超氧化物歧化酶活力及总抗氧化能力均显著高于对照组；同时，赛后 24 h 试验组过氧化氢酶、谷胱甘肽过氧化物酶、超氧化物歧化酶活力及总抗氧化能力均高于对照组。上述结果表明肌酸可提高速步马机体内抗氧化系统中内源性抗氧化酶的活力，有利于速步马赛后机体内自由基的清除，降低运动对细胞膜的损伤，有益于速步马赛后的恢复。

4 结 论

在试验条件下可得出以下结论：

① 补喂肌酸可提高速步马 1 km 速步赛成绩。

② 补喂肌酸对于速步马血浆中葡萄糖、乳酸、肌酸、肌酐、胰岛素、胰高血糖素及皮质醇含量无显著影响。

③ 补喂肌酸可提高速步马血浆中过氧化氢酶、超氧化物歧化酶活力及总抗氧化能力。

参考文献：

[1] REARDON T F,RUELL P A,FIATARONE SINGH M A,et al.Creatine supplementation does not enhance submaximal aerobic training adaptations in healthy young men and

women[J].European Journal of Applied Physiology,2006,98(3):234–241.

[2] ECKERSON J M,STOUT J R,MOORE G A,et al.Effect of two and five days of creatine loading on anaerobic working capacity in women[J].Journal of Strength and Conditioning Research,2004,18(1):168–173.

[3] FRANCAUX M,DEMEURE R,GOUDEMANT J F,et al.Effect of exogenous creatine supplementation on muscle PCr metabolism[J].International of Journal Sport Medicine,2000,21(2):139–145.

[4] BROSE A,PARISE G,TARNOPOLSKY M A.Creatine supplementation enhances isometric strength and body composition improvements following strength exercise training in older adults[J].The Journals of Gerontology Series A:Biological Sciences and Medical Sciences,2003,58(1):11–19.

[5] 司昌军.补充肌酸及间歇性运动对大鼠内源性肌酸合成的影响[J].河南师范大学学报:自然科学版,2007,35(2):199–201.

[6] 刘玉倩,常彦忠,王书敏,等.肌酸补剂对小鼠运动能力影响机制的研究[J].中国体育科学,2008,44(2):136–139.

[7] WILLIAMS M H,BRANCH J D.Creatine supplementation and exercise performance:an update[J].Journal of the Animal College Nutrition,1998,17(3):216–234.

[8] ARAÚJO M B,MOURA L P,RIBEIRO C,et al.Oxidative stress in the liver of exercised rats supplemented with creatine[J].International Journal of Nutrition and Metabolism,2011,3(5):58–64.

[9] SEWELL D A,HARRIS R C.Effects of creatine supplementation in the Thoroughbred horse[J].Equine Veterinary Journal,1995,27(Suppl.18):239–242.

[10] SHIMOMURA Y,YAMAMOTO Y,BAJOTTO G,et al.Nutraceutical effects of

branched-chain amino acids on skeletal muscle[J].The Journal of Nutrition,2006,136(2):529S-532S.

[11] SNOW R J,MCKENNA M J,SELIG S E,et al.Effects of creatine supplementation on sprint exercise performance and muscle metabolism[J].Journal of Applied Physiology,1998,84(5):1667–1673.

[12] 金宏.肌酸提高运动能力的作用[J].氨基酸和生物资源,2001,23(4):32–35.

[13] IZQUIERDO M,IBAÑEZ J,GONZÁLEZ-BADILLO J J,et al.Effects of creatine supplementation on muscle power,endurance,and sprint performance[J].Medicine and Science Sports Exercise,2002,34(2):332–343.

[14] MURPHY A J,WATSFORD M L,COUTTS A J,et al.Effects of creatine supplementation on aerobic power and cardiovascular structure and function[J].Journal of Science Medicine in Sport,2005,8(3):305–313.

[15] COOKE W H,GRANDJEAN P W,BARNES W S.Effect of oral creatine supplementation on power output and fatigue during bicycle ergometry[J].Journal of Applied Physiology,1995,78(2):670–673.

[16] CREENHAFF P L, CONSTANTIN-TEODOSIU D,CASEY A,et al.The effect of oral creatine supplementation on skeletal muscle ATP degradation during repeated bouts of maximal voluntary exercise in man[J].Journal of Physiology,1994,476:84.

[17] 朱亚林,金其贯.力竭性运动对血清胰岛素的影响[J].标记免疫分析与临床,1996,3(1):42–43.

[18] DAVICS C T,FEW J D.Effects of exercise on adrenocortical function[J].Journal of Applied Physiology,1973,35(6):887–891.

[19] MUKAI K,TAKASHI T,ETO D,et al.Heart rates and blood lactate response in

Thoroughbred horses during a race[J].Journal of Equine Science,2007,18(4):153–160.

[20] REARDON T F, RUELL P A, FIATATONE SINGH M A., et al. Creatine supplementation does not enhance submaximal aerobic training adaptations in healthy young men and women[J]. European Journal of Applied Physiology, 2006, 98(3): 234-241.

[21] 王宁,王建文,孟军,等.间歇训练法对速步马血液生化指标影响的研究[J].新疆农业科学,2014,51(12):2308–2314.

[22] 王镜岩,朱圣庚,徐长发.生物化学[M].北京:高等教育出版社,2002.

[23] ELAM R P.Morphological changes in adult males from resistance exercise and amino acid supplementation[J].Journal of Sports Medicine and Physical Fitness,1988,28(1):35–39.

[24] 柯湘,袁海平,刘学,等.补充肌酸对游泳大鼠抗氧化能力的影响[C]//第九届全国运动医学学术会议论文摘要汇编.北京:中国体育科学学会运动医学分会,2002:339.

Effects of Supplement Feeding Creatine on Athletic Performance, Glucose Metabolism and Antioxidant Ability of Trotters

LI Xiaobin MA Jun NIE Biaobiao YANG Jingtao QIAO Chunjiang YANG Kailun*

(*Xinjiang Key Laboratory of Meat & Milk Production Herbivore Nutrition, Xinjiang Agricultural University, Urumqi* 830052, *China*)

Abstract: This study aimed to study the effects of supplemental feeding creatine on athletic performance, glucose metabolism and antioxidant ability of trotters, and provided the reference data for the creatine application in training and competition. Eight 4 years old *Yili* male horses with the average body weight of （457±50） kg and similar performance based on strict training were divided into 2 groups. First group was control group, the other was trial group, and each group had 4 horses. All trotters were fed with 3 kg pelleted concentrate every day, and allowed free choice continuous access to dry forage; basis on those, each of horse in trail group was fed with 38 g creatine. The 38 d supplemental feeding experiment and training experiment comprised

*Corresponding author, professor, E-mail: yangkailun2002@aliyun.com (责任编辑 菅景颖)

of 7 d adaptation and 31 d collection. The results showed that supplemental feed creatine could increase the time of 1 km trot race in trotters, the race time of trail group was shorten 12.74% compared that in control group ($P>0.05$). In the aspect of plasma antioxidant indices, supplemental feeding creatine could significantly increase the plasma catalase (CAT) activity, total antioxidant capacity (T-AOC) at 30 min after the race and the plasma superoxide dismutase (SOD) activity at 24 h after the race ($P<0.05$). But there were no significant differencs in the heart rate and contents of plasma glucose, lactic acid, creatine, creatinine, insulin, glucagons and cortisol at before and after of race between control group and trial group ($P>0.05$). Therefore, supplemental feeding creatine can increase the sport result, and improve the antioxidant ability of trotters.

Key words: creatine; trotters; athletic performance; glucose metabolism, antioxidant ability